

ANALISIS ENERGI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) *DUAL FUEL* LINE 2 PT RIAU ANDALAN PULP AND PAPER (RAPP) 100 MW PANGKALAN KERINCI

Samuel Siregar¹, Romy², Awaludin Martin²

Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau
¹siregarsamuel99@yahoo.co.id, ²romy_pku@yahoo.com, ³awaludinmartin01@gmail.com

ABSTRACT

The Steam Power Plant is one of the largest electric energy provider in Indonesia. In general, the performance of a power plant was evaluated by using the first law of thermodynamics (conservation of energy law). The first law of thermodynamics only examined the quantity of energy consumption. The purpose of this study is to analyze the work of components, incoming heat, and also nett work from the system so that the energy value of the system is obtained in the form of energy efficiency from the cycle of PT RAPP's 100 MW Steam Power Plant. From the results obtained, pump I work is 0.0047 MW, followed by pump II 1.35 MW, heat is 198.27 MW, turbine work is 87.09 MW, and net work is 85.73 MW, so thermal efficiency at PT RAPP steam power plant is 43.24%.

Keywords : steam power plant, energy, thermal efficiency

1. Pendahuluan

Energi listrik adalah bentuk energi yang paling efektif, paling mudah dan paling efisien dalam cara penggunaannya. Energi listrik dapat diproduksi dengan berbagai cara dari sumber awal yang berbeda-beda, yaitu air, minyak, gas, batubara, angin, cahaya matahari, panas bumi, dan lain-lain [1]. Konsumsi listrik Indonesia setiap tahunnya terus meningkat sejalan dengan peningkatan pertumbuhan ekonomi nasional. Peningkatan kebutuhan listrik diperkirakan dapat tumbuh rata-rata 6,5% per tahun hingga tahun 2020 [2].

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah suatu pembangkit listrik dimana energi listrik dihasilkan oleh generator yang diputar oleh turbin uap yang memanfaatkan tekanan uap hasil dari penguapan air yang dipanaskan oleh bahan bakar di dalam ruang bakar (*boiler*). Salah satu jenis PLTU adalah PLTU berbahan bakar batubara. PLTU berbahan bakar batubara sangat banyak penggunaannya di Indonesia maupun di dunia. Sebagaimana dikemukakan oleh Agus Sugiyono dalam buku Indonesia Energy Outlook 2010 (2013) bahwa pada tahun 2011 konsumsi bahan bakar pembangkit listrik Perusahaan Listrik Negara (PLN), *Independent Power Producer* (IPP) dan *Private Power Utility* (PPU) didominasi oleh bahan bakar batubara dengan target sekitar 47% atau lebih dari 189 juta Setara Barel Minyak (SBM), kemudian diikuti oleh bahan bakar gas dan minyak dengan target masing masing sebesar 23% atau sebesar 92 juta SBM dan 19% (76 juta SBM), sedangkan sisanya diisi oleh hidro (8%) dan panas bumi (4%). Pada tahun 2020 diprediksi penggunaan batubara akan tetap sangat mendominasi bahan bakar untuk pembangkit, yaitu sebesar 60% atau sekitar 557 juta SBM [3].

Energi terbarukan yaitu energi yang berasal bukan dari energi fosil, yang dapat diperbaharui dan

bila dikelola dengan baik maka tidak akan habis. Salah satu energi terbarukan adalah biomassa. Biomassa merupakan energi yang bersumber dari bahan-bahan alami seperti kayu, limbah pertanian, perkebunan, hutan, komponen organik dari industri dan rumah tangga serta kotoran hewan dan manusia. Biomassa dikenal sebagai zero CO₂ emission, dengan kata lain tidak menyebabkan akumulasi CO₂ di atmosfer. Indonesia sebagai negara agraris mempunyai potensi energi biomassa yang cukup besar. Bahan bakar biomassa yang digunakan PT RAPP untuk produksi tenaga listrik tidak 100 % berasal dari energi terbarukan yaitu bark (kulit kayu), serat buah kelapa sawit, tandan kosong, dan cangkang. Tetapi PT RAPP masih juga menggunakan bahan bakar natural gas dalam jumlah yang sangat sedikit. Namun efisiensi energi yang dihasilkan pada PLTU hanya berkisar 25-50% [4].

Dari uraian diatas maka penulis tertarik untuk membahas lebih rinci dan spesifik lagi mengenai "Analisis Energi Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) *Dual Fuel Line 2* PT Riau Andalan Pulp and Paper (RAPP) 100 MW Pangkalan Kerinci" yang akan membahas tentang efisiensi pada turbin uap yang dimanfaatkan sebagai penunjang kinerja turbin uap. Studi ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja dari siklus uap tersebut termasuk komponen-komponennya, serta membahas tentang efisiensi thermal dari siklus.

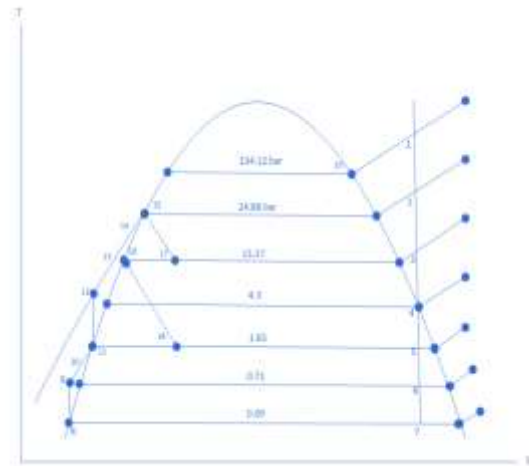
2. Metode

Penelitian dilakukan pada line 2 PLTU PT RAPP Pangkalan Kerinci. PLTU PT RAPP line 2 ini menghasilkan daya 100 MW berdasarkan desainnya. Pada line 2 ini menggunakan bahan bakar yang dapat diperbaharui (*renewable energy*) yaitu biomassa dan natural gas, namun tidak semua line pada PLTU di PT RAPP menggunakan bahan bakar ini, line yang lain menggunakan bahan bakar

fosil yaitu batubara. Pada tahap awal penelitian, dilakukan identifikasi masalah untuk mengetahui kondisi pembangkit yang akan dijadikan studi kasus pada tugas akhir ini. Permasalahan yang diangkat adalah mengenai identifikasi jenis, lokasi dan nilai kerugian termal pada PLTU line 2 PT RAPP.

Pengumpulan data dilakukan dengan observasi ke lapangan dengan mengambil sampel data aktual operasi. Data aktual diambil dari *logsheet* atau *daily report* dan juga data komponen PLTU PT RAPP pada tanggal 1 Januari 2019 setiap jamnya selama 24 jam. Data aktual operasi harian PLTU yang diambil berupa laju aliran massa, temperatur, tekanan setiap state nya, juga data bahan bakar yang dipakai pada line 2 PLTU PT RAPP ini. Skema PLTU ditunjukkan pada Gambar 1. Sistem terdiri dari komponen utama PLTU yaitu, pompa, ruang bakar, turbin, uap, preheater, dan kondensor.

Pengolahan data yang dilakukan dengan melakukan perhitungan energi pada tiap-tiap komponen utama pembangkit pada PLTU ini. Lalu dapat dibuat diagram TS pada PLTU PT RAPP seperti gambar 2.

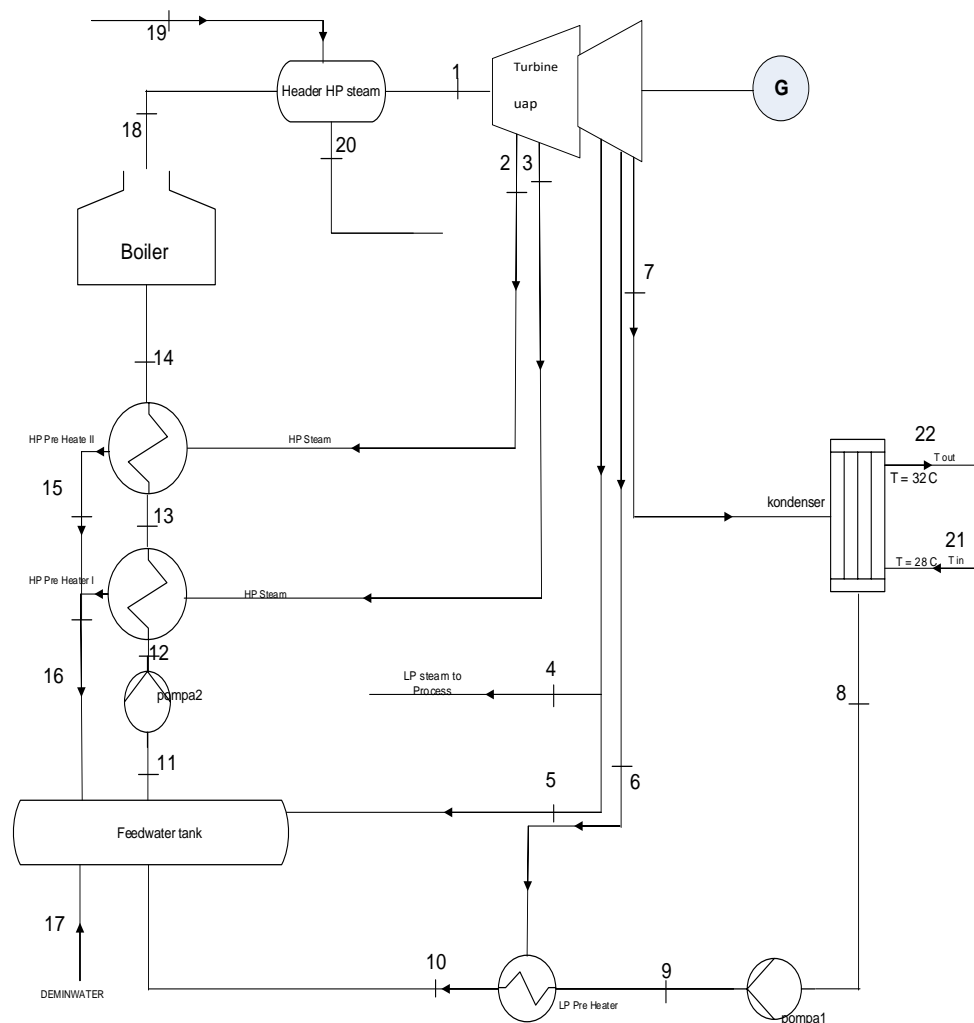


Gambar 2. Diagram TS [5]

- 1) Proses 1-2,3,4,5,6,7 : Proses ekstraksi dan ekspansi pada turbin [6].

Nilai kerja turbin pada proses 1-2,3,4,5,6,7 adalah sebagai berikut :

$$W_{T,uap} = [(\dot{m}_1 \times h_1) - ((\dot{m}_2 \times h_2) + (\dot{m}_3 \times h_3) + (\dot{m}_4 \times h_4) + (\dot{m}_5 \times h_5) + (\dot{m}_6 \times h_6) + (\dot{m}_7 \times h_7))]$$



Gambar 1. Skema PLTU 100 MW PT RAPP

2) Proses 7-8 : Pelepasan panas pada kondensor
 Dalam kondensor terjadi perpindahan kalor dari uap ke air pendingin yang mengalir dalam aliran yang terpisah. Uap terkondensasi dan temperatur air pendingin meningkat. Pada kondisi tunak (*steady state*), kesetimbangan laju massa dan energi untuk volume atur yang melingkupi bagian kodensasi dan penukar kalor adalah :

$$Q_{out} = \dot{m}_7 \times (h_7 - h_8)$$

3) Proses 8-9 : Proses kompresi pada pompa I
 $W_{pompaI} = \dot{m}_8 \times (v_{f8} \times (P_9 - P_8))$

4) Proses 9-10 : *Low Pressure Heater*
 $Q_{in} = (\dot{m}_{10} \times h_{10}) - (\dot{m}_9 \times h_9)$

5) Proses 10-11 : Proses penambahan panas pada *Feed Water Tank (FWT)*
 $Q_{in} = [(\dot{m}_{11} \times h_{11}) - ((\dot{m}_5 \times h_5) + (\dot{m}_{10} \times h_{10}) + (\dot{m}_{16} \times h_{16}) + (\dot{m}_{17} \times h_{17}))]$

6) Proses 11-12 : Proses kompresi isentropi pada pompa kondensat
 $W_{pompaII} = \dot{m} \times (v_f \times (P_{12} - P_{11}))$

7) Proses 12-13 : Proses penambahan panas pada *High Pressure Heater I*
 $Q_{in} = ((\dot{m}_{13} \times h_{13}) - (\dot{m}_{12} \times h_{12}))$

8) Proses 13-14 : Proses penambahan panas pada *High Pressure Heater II*

9) Proses 14-18 : Proses penambahan panas pada pada ruang bakar
 $Q_B = (\dot{m}_{ud} + \dot{m}_{bb}) \times ((C_{p(T18)} \times T_{18}) - (C_{p(T14')} \times T_{14'}))$

10) Proses 18-1 : Proses penambahan panas dan pressure pada *Header*
 $Q_{HE} = ((\dot{m}_1 \times h_1) - (\dot{m}_{18} \times h_{18}))$

3. Hasil

Adapun hasil perhitungan kerja pompa, kalor masuk, kerja turbin, dan efisiensi termal PLTU di tunjukkan pada perhitungan sebagai berikut:

Diketahui :

$$\dot{m}_{bb} = 18,43 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{ud} = 118,87 \text{ kg/s}$$

AFR adalah perbandingan antara massa udara terhadap massa bahan bakar [7].

maka AFR didapat :

$$AFR = \frac{118,87}{18,43} = 6,45$$

Menghitung kerja dan kalor pada komponen PLTU PT RAPP line 2 :

- Proses 1-2,3,4,5,6,7 : Proses ekstraksi dan ekspansi pada turbin

$$W_{T,uap} = [(94,32 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 3395,484 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}) - ((6,51 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 3080,717 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}) + (4,64 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 2980,708 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}) + (48,84 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 2586,44 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}) + (4,06 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 2586,44 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}) + (1,63 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 2305,54 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}) + (28,64 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 2049,83 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}))] \\ W_{T,uap} = 87088,29 \text{ kW} = 87,09 \text{ MW}$$

- Proses 7-8 : Pelepasan panas pada kondensor

$$Q_{out} = (28,64 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times (2049,83 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 171,746 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})) \\ Q_{out} = 53,788,28 \text{ kW} = 53,79 \text{ MW}$$

- Proses 8-9 : Proses kompresi pada pompa I

$$W_{pompaI} = (28,64 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times (0,0010082 \text{ m}^3/\text{kg} \times (244 \text{ kPa} - 80 \text{ kPa}))) \\ W_{pompaI} = 4,7356 \text{ kW} = 0,004736 \text{ MW}$$

- Proses 9-10 : *Low Pressure Heater*

$$Q_{in} = (24,26 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 316,0415 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}) - (28,64 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 171,746 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}) \\ Q_{in} = 2748,36 \text{ kW} = 2,7484 \text{ MW}$$

- Proses 10-11 : Proses penambahan panas pada *Feed Water Tank (FWT)*

$$Q_{in} = [(59,66 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 594,1268 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}) - ((4,06 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 744,03 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}) + (24,26 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 316,0415 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}) + (11,15 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 839,7183 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}) + (39,85 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 164,43 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}))] \\ Q_{in} = 722,07 \text{ kW} = 0,722 \text{ MW}$$

- Proses 11-12 : Proses kompresi isentropi pada pompa kondensat

$$W_{pompaII} = 59,66 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times ((0,001084 \text{ m}^3/\text{kg} \times 21266 \text{ kPa}) - (0,001081 \text{ m}^3/\text{kg} \times 370 \text{ kPa})) \\ W_{pompaII} = 1351,74 \text{ kW} = 1,3517 \text{ MW}$$

- Proses 12-13 : Proses penambahan panas pada *High Pressure Heater I*

$$Q_{in} = ((59,66 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 799,184 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}) - (59,66 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 607,219 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})) \\ Q_{in} = 11452,61 \text{ kW} = 11,45 \text{ MW}$$

- Proses 13-14 : Proses penambahan panas pada *High Pressure Heater II*

$$Q_{in} = (59,66 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 953,59 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}) - (59,66 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 799,184 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}) \\ Q_{in} = 9211,9586 \text{ kW} = 9,2119 \text{ MW}$$

- Proses 14-18 : Proses penambahan panas pada pada ruang bakar

$$Q_B = (118,87 \frac{\text{kg}}{\text{s}} + 18,43 \frac{\text{kg}}{\text{s}}) \times ((1,0994 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} \times 802 \text{ K}) - (1,0114 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} \times 383,78 \text{ K}))$$

$$Q_B = (137,3 \frac{kg}{s}) \times ((1,0994 \frac{kJ}{kg.K} \times 802K) - (1,0114 \frac{kJ}{kg.K} \times 383,78 K))$$

$$Q_B = 67770,72 \text{ kW} = 67,7707 \text{ MW}$$

- Proses 18-1 : Proses penambahan panas dan pressure pada Header

$$Q_{HE} = ((94,32 \frac{kg}{s} \times 3395,484 \frac{kJ}{kg}) - (55,7 \frac{kg}{s} \times 3406,774 \frac{kJ}{kg}))$$

$$Q_{HE} = 130504,74 \text{ kW} = 130,5047 \text{ MW}$$

Perhitungan nilai efisiensi termal pada sistem pembangkit listrik tenaga uap didapat dari perbandingan kerja bersih (W_{net}) sistem dan nilai panas masuk kedalam sistem (Q_{in}). Nilai kerja bersih yang digunakan untuk menentukan nilai efisiensi kerja dari siklus kombinasi uap ini adalah ($W_{\text{net,uap}}$) [3]. Sedangkan untuk nilai panas masuk yang digunakan hanya berasal dari nilai panas masuk di ruang bakar.

Maka nilai W_{net} pada sistem pembangkit listrik tenaga uap line 2 PT RAPP 100 MW adalah ;

$$W_{\text{net}} = W_{\text{net,uap}}$$

$$W_{\text{net}} = (W_{\text{turbin,uap}} - (W_{\text{pompa I}} + W_{\text{pompa II}}))$$

$$W_{\text{net}} = (87088,289 \text{ kW} - (4,7356 \text{ kW} + 1351,74 \text{ kW}))$$

$$W_{\text{net}} = (87,09 \text{ MW} - 1,3517 \text{ MW})$$

$$W_{\text{net}} = 85,732 \text{ MW}$$

Sehingga,

$$\eta_{\text{th}} = \frac{W_{\text{net}}}{Q_{\text{in}}} = \frac{W_{\text{net}}}{Q_B + Q_{HE}}$$

$$\eta_{\text{th}} = \frac{85,732 \text{ MW}}{198,2755 \text{ MW}}$$

$$\eta_{\text{th}} = 0,4324 = 43,24 \%$$

4. Pembahasan

Nilai *excess air* yang terjadi pada proses pembakaran di ruang bakar adalah sebesar 158,6%. Yang berarti banyak udara pembakaran yang digunakan 1,586 kali dari udara pembakaran teoritis. Salah satu cara untuk mengurangi nilai *excess air* tersebut adalah dengan melakukan pemanasan udara pembakaran terlebih dahulu, sehingga nilai AFR juga dapat dikurangi.

Dari perhitungan didapat nilai AFR udara aktual yang didapat adalah 6,45 (kg udara/kg bahan bakar), laju aliran massa bahan bakar 18,43 kg/s dan nilai laju aliran massa udara adalah 118,87 kg/s. Nilai-nilai ini digunakan untuk menghitung laju energi persatuan waktunya atau daya pada masing-masing state di sistem. Sedangkan nilai laju aliran air dan uap pada siklus pembangkit uapnya didapat dari data harian pembangkit. Berikut adalah nilai kerja dan panas yang didapat dari tiap komponen di siklus PLTU PT RAPP 100 MW. Hasil perhitungan yang didapat ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisis Energi

PARAMETER	UNIT	NILAI
W Pompa I	(MW)	0,004736
W Pompa II	(MW)	1,3517
W Turbin Uap	(MW)	87,088
Q _{in} Uap	(MW)	198,2755
Q _{out} Uap	(MW)	53,79
W net Sistem	(MW)	85,732
Efisiensi Sistem	%	43,239

Hasil perhitungan yang didapat menunjukkan nilai daya aktual dari yang dihasilkan oleh pembangkit listrik adalah sebesar 85,73 MW. Dengan nilai efisiensi termal dari siklus di PLTU PT RAPP ini sebesar 43,24%.

5. Simpulan

Simpulan perhitungan yang telah dilakukan, didapat kerja pompa I 0,0047 MW, kerja pompa II 1,35 MW, kalor yang masuk 198,27 MW, kerja turbin 87,09 MW, kerja bersih 85,73 MW dan didapat efisiensi termal PLTU PT RAPP 43,24%.

Daftar Pustaka

- [1] Tumiran, 2002. Kualitas Energi Listrik Menyongsong Pembahasan RUU Ketenagalistrikan, Majalah Energi, Edisi 16 (Juni-Agustus 2002), Pusat Studi Energi UGM, Yogyakarta
- [2] Muchlis, Moch, 2012. Proyeksi Kebutuhan Listrik PLN Tahun 2003 sd 2020. http://www.oocities.org/markal_bppt/publish/slistrk/slmuch.pdf (diakses 17 januari 2019)
- [3] Pusat Data dan Informasi Kementerian ESDM. 2013. "Indonesia Energy Outlook 2010 (IEO 2010)". Kementerian ESDM
- [4] Dahono, Argo. 2011. Ayo Membangun Pembangkit Listrik di Indonesia. <https://konversi.wordpress.com/2011/05/22/mengapa-pltu-mempunyai-efisiensi-rendah.html> (diakses 15 januari 2019)
- [5] Cengel, Y.A., Boles M.A. 2015. Thermodynamic An Engineering Approach. New York: Mc Graw-Hill Education
- [6] Christian O. Osueke, Anthony O. Onokwai, Adeyinka O. Adeoye, 2015. "Energy and Exergy Analysis of a 75MW Steam Power Plant in Sapele (NIGERIA)", International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering, Vol. 2, Issue 6: 169-179
- [7] Pulkrabek, W, Willard. 2004 "Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine". Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, p 1-6
- [8] Moran, Michael J., and Howard N. Shapiro. 2007. Fundamentals of Engineering Thermodynamics. 5th. Southern Gate, Chichester: John Wiley & Sons Ltd.